

TELEMATIK

**ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA DAERAH LAS DAN
HAZ HASIL PENGELASAN *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW)
PADA BAJA KARBON MEDIUM DAN QUENCHING AIR LAUT**

Erizal

**CAPTURE ID CARD BERDASARKAN JARAK IMAGE MENGGUNAKAN
ALGORITMA EUCLIDEAN DISTANCE**

Dedy Abdullah, Maltayudin

**ANALISA EFEKTIFITAS *HEAT EXCHANGER*
PADA KONDISI OPERASI**

**(Studi Kasus di Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi PT. PLN-
Persero, Kec. Ujan Mas, Kab. Kepahiang, Propinsi Bengkulu)**

Angky Puspawan

**IMPLEMENTASI DATA MINING DENGAN METODE CLUSTERING
UNTUK MENGUKUR KECENDERUNGAN MEMILIH DAN TIDAK
MEMILIH BAKAL CALON KEPALA DAERAH PADA
PEMILIHAN KEPALA DAERAH**

Rozali Toyib

**ANALISA PENGARUH VOLUME TABUNG DAN JARAK KATUP BUANG
TERHADAP UNJUK KERJA POMPA HIDRAM**

Angky Puspawan¹, Nurul Iman Supardi², Destu Rizal³

**PENERAPAN *WEBQUAL 4.0* UNTUK MENGANALISA *WEBSITE*
E-GOVERNMENT PROVINSI BENGKULU**

Diana

**SISTEM PAKAR MENGGUNAKAN METODE FORWARD CHAINING
UNTUK MENGANALISA KEPERIBADIAN SISWA SMP**

Khairunnisyah

**IMPLEMENTASI PENGAMANAN FILE MENGGUNAKAN ALGORITMA
RSA PADA APLIKASI PGP**

Usman Gumanti

ANALISA EFEKTIFITAS *HEAT EXCHANGER* PADA KONDISI OPERASI
Studi Kasus di Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi PT. PLN-Persero,
Kec. Ujan Mas, Kab. Kepahiang, Propinsi Bengkulu

Angky Puspawan
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu
Jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371A
angkypuspawan@yahoo.com

ABSTRACT

In Musi Hydropower Heat Exchanger is used to cool the generator. As we know, the generator is a vital component in a generation electricity wire. The function of the generator is converting mechanical energy from the turbine into electrical energy. Generators in everyday use require cooling in order to extend service life. Due to extremely high operating temperatures can cause damage to the generator components. The importance of the effectiveness of the heat exchanger is happening is to look at the performance of the ground heat exchanger.

Data obtained as inlet and outlet water temperature ($T_{c,in}$ and $T_{c,out}$), oil temperature log ($T_{h,in}$ and $T_{h,out}$) and the flow of water and oil flow capacity (Q_c and Q_h) is used to calculate the effectiveness of the heat exchanger. In calculating the heat exchanger effectiveness, there is some value to look like Density (ρ), specific heat (C_p), the mass flow rate (\dot{m}_c and \dot{m}_h), the real heat transfer (Q), the maximum possible heat transfer (Q_{max}), the coefficient heat transfer to the water and oil (C_c and C_h) and the last search effectiveness (ϵ).

The results of calculation of heat exchanger effectiveness is happening at unit 1 Musi Hydropower of Ujan Mas Kepahiang, can be considered to be ineffective and inefficient, as heat exchangers work effectively under state or in other words the heat exchanger is not working properly in accordance with the (far from the boundaries of normal). This is because the maintenance and repair of heat exchangers made far from perfect.

Keywords: Effectiveness, Heat Exchangers, Heat Transfer

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia produksi yang menggunakan mesin dengan kerja *non stop* sangat lah memungkinkan untuk menggunakan pendingin agar alat atau mesin yang digunakan tidak mengalami *overheat* (panas berlebih). Dengan fungsi *heat exchanger* sebagai kontrol sistem atau substansi dengan menambahkan atau menghilangkan energi thermal sangat baik digunakan sebagai alat pendingin suatu kerja mesin. *Heat exchanger* didesain untuk dapat memindahkan suhu panas dari suatu zat ke zat yang lain, yaitu misalnya dari suatu fluida ke fluida lain.

Di PLTA Musi *Heat Exchanger* digunakan untuk mendinginkan generator. Seperti kita ketahui, generator adalah komponen yang vital pada suatu pembangkit listrik. Fungsi dari generator yaitu adalah mengubah energi mekanik yang berasal dari turbin menjadi energi listrik. Generator dalam penggunaannya sehari-hari memerlukan pendingin agar dapat memperpanjang umur pemakaian. Karena temperatur kerja yang

sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada komponen generator.

Untuk menjaga agar suhu dalam generator tetap stabil, maka digunakan sebuah alat penukar kalor. Pada proses pendinginan generator, fluida yang akan didinginkan adalah oli panas dan fluida yang mendinginkan adalah air yang mengalir dalam berkas tabung.

Umumnya penukar kalor yang digunakan dalam jangka panjang. Oleh karena itu yang perlu diperhatikan adalah jenis fluida yang bekerja di dalamnya, dimensi yang dibutuhkan, serta bentuk konfigurasinya. Untuk itu, tulisan ini bertujuan untuk menganalisis kinerja alat penukar kalor yang digunakan untuk mendinginkan generator, seberapa efektif dan seberapa besar laju perpindahan panas yang terjadi antara air dan oli yang didinginkan di dalam alat penukar kalor tersebut.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian *Heat Exchanger*

Heat Exchanger (Penukar panas) adalah perangkat yang digunakan untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dan fluida, atau

antara partikulat padat dan fluida, pada temperatur yang berbeda dan dalam kontak termal. Dalam penukar panas, biasanya tidak ada panas eksternal dan interaksi kerja. Aplikasi yang umum melibatkan pemanasan atau pendinginan dari aliran fluida yang menjadi perhatian dan penguapan atau kondensasi aliran fluida tunggal atau multikomponen. dalam aplikasi lain, tujuannya dapat memulihkan atau menolak panas, atau *sterilisasi*, *pasteurisasi*, *fraksinasi*, menyaring, berkonsentrasi, mengkristal, atau mengontrol proses fluida.

Dalam beberapa penukar panas, fluida bertukar panas yang bersentuhan langsung. Dalam kebanyakan penukar panas, perpindahan panas antara fluida berlangsung melalui dinding pemisah atau masuk dan keluar dari dinding secara *transien*. Dalam banyak penukar panas, fluida dipisahkan oleh permukaan perpindahan panas, dan idealnya mereka tidak bercampur atau bocor. Penukar tersebut disebut sebagai jenis transfer langsung, atau hanya *recuperators*. Sebaliknya, *exchanger* di mana terdapat pertukaran panas berselang antara fluida panas dan dingin melalui penyimpanan energi panas dan melepaskan melalui permukaan penukar atau matriks yang disebut sebagai jenis transfer langsung, atau hanya *regenerator*.

Penukar seperti biasanya memiliki kebocoran fluida dari satu aliran fluida ke yang lain, karena perbedaan tekanan dan rotasi matriks / katup berpindah. Contoh umum dari penukar panas adalah shell dan tabung penukar, radiator mobil, kondensor, evaporator, preheaters udara, dan menara pendingin. Jika tidak ada perubahan fase terjadi di salah satu fluida dalam *exchanger*, kadang-kadang disebut sebagai penukar panas yang masuk akal. Mungkin ada sumber energi internal termal dalam penukar, seperti di pemanas listrik dan elemen bahan bakar nuklir.

Pembakaran dan reaksi kimia dapat berlangsung dalam *exchanger*, seperti di boiler, dan *fluidized-bed exchanger*. Perpindahan panas di dinding yang memisahkan dari *recuperator* umumnya terjadi karena konduksi. Namun, pada pipa panas penukar kalor, pipa panas tidak hanya bertindak sebagai tembok yang memisahkan, tetapi juga memfasilitasi transfer panas oleh *kondensasi*, *evaporasi*, dan konduksi dari fluida kerja dalam pipa panas. Secara umum,

jika fluida ini bercampur, tembok yang memisahkan dapat dihilangkan, dan antarmuka antara fluida menggantikan permukaan perpindahan panas, seperti dalam penukar panas langsung-kontak.

Sebuah penukar panas terdiri dari unsur-unsur perpindahan panas seperti inti atau matriks yang memuat permukaan perpindahan panas, dan elemen distribusi fluida seperti *header*, *manifold*, *tank*, *inlet* dan *outlet* atau *nozel* pipa, atau *seal*. Biasanya, tidak ada bagian yang bergerak dalam penukar panas, namun, ada pengecualian, seperti penukar *regeneratif rotary* (di mana matriks mekanis didorong untuk memutar di beberapa kecepatan desain) atau penukar panas permukaan tergores.

Permukaan perpindahan panas adalah permukaan inti *exchanger* yang berada dalam kontak secara langsung dengan fluida dan melalui yang panas ditransfer oleh konduksi. Itu bagian dari permukaan yang berada dalam kontak secara langsung dengan kedua fluida panas dan dingin dan panas transfer antara mereka disebut sebagai permukaan primer atau langsung. Untuk meningkatkan area perpindahan panas, pelengkap mungkin erat ke permukaan utama untuk memberikan permukaan, diperpanjang sekunder, atau tidak langsung. Unsur-unsur permukaan diperpanjang disebut sebagai sirip. Dengan demikian, panas dilakukan melalui sirip dan convected (dan/atau memancar) dari sirip (melalui area permukaan) ke fluida sekitarnya, atau sebaliknya, tergantung pada apakah sirip sedang didinginkan atau dipanaskan. Akibatnya, penambahan sirip ke permukaan utama mengurangi hambatan termal pada sisi itu dan dengan demikian meningkatkan perpindahan panas total dari permukaan untuk perbedaan suhu yang sama. Sirip dapat membentuk bagian aliran fluida untuk individu tetapi tidak memisahkan dua (atau lebih) fluida *exchanger*. Permukaan ini sekunder atau sirip juga dapat diperkenalkan terutama untuk tujuan struktural kekuatan atau untuk memberikan pencampuran menyeluruh dari suatu cairan yang sangat kental. Perpindahan panas dapat dibedakan atas tiga yaitu :

1. Konduksi (*Conductivity*)
2. Konveksi (*Convectivity*)
3. Radiasi (*Radiation*)

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan panas melalui media

penghantar tanpa disertai partikel zatnya. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna adalah logam. Jenis-jenis ini merupakan penghantar kalor yang baik. Sebagai contoh bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam yang salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Konduktor adalah bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik. Isolator adalah penghantar kalor yang buruk.

Syarat untuk terjadinya perpindahan panas secara konduksi adalah :

- Adanya bidang kontak (luas permukaan)
- Adanya perbedaan suhu (ΔT)
- Media penghantar yang dinyatakan dalam Konduktivitas thermal ($W/m^2 \cdot ^\circ C$ atau $W/m^2 \cdot K$)

Perpindahan secara konduksi biasanya terjadi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah. Laju perpindahan panas secara konduksi dapat di hitung dengan menggunakan rumus

$$q = -KA \frac{\partial T}{\partial x} \quad 2.1$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan kalor (W)

K = Konduktivitas termal dari bahan ($W/m \cdot ^\circ C$ atau $W/m^2 \cdot K$)

A = Luas permukaan (m^2)

$\partial T / \partial x$ = Gradien perpindahan suhu ke arah benda pada jarak tertentu ($^\circ C$)

$-$ = Tanda negatif adalah perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas yang media panasnya relatif berpindah, biasanya terjadi antara permukaan padat dengan fluida seperti cairan dan gas. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Adapun laju perpindahan panas dengan menggunakan sistem konveksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q = h \cdot A \cdot (T_w - T_\infty) \quad 2.2$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan kalor (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m \cdot ^\circ C$ atau $W/m^2 \cdot K$)

A = Luas permukaan (m^2)

$(T_w - T_\infty)$ = Beda suhu antara dinding dan fluida ($^\circ C$)

Beberapa nilai h dapat dilihat pada tabel yang dimiliki fluida. Konveksi dapat di bedakan menjadi 2 jenis yaitu :

a. Konveksi bebas (Konveksi alamiah)

Konveksi alami adalah perpindahan panas yang terjadi karena fluida yang berubah kerapatan jenisnya sendiri sehingga bergerak naik dengan kata lain terjadi secara alami

- Contohnya adalah pemanasan aliran udara yang melalui radiator, pemanasan air dalam ketel.
- Fluida panas yang menerima panas akan naik ke atas, kekosongan tempat massa fluida yang telah naik diisi oleh massa fluida yang bersuhu rendah.
- Aliran fluida terjadi akibat perbedaan densitas, dan perbedaan densitas akibat adanya gradien suhu di dalam massa fluida itu.

b. Konveksi paksa

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang terjadi karena fluida bergerak disebabkan adanya dorongan dari peralatan dari luar seperti kipas atau blower, pompa dan lain sebagainya.

- Jika aliran fluida digerakkan oleh piranti mekanik seperti pompa dan pengaduk.
- Aliran/perpindahan panas tidak bergantung pada gradien densitas.
- Contohnya aliran kalor melalui pipa panas

2.1.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi berlangsung karena adanya pancaran tanpa medium. Benda hitam memancarkan energi radiasi yang paling besar . Adapun laju perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$q_r = \sigma A T^4 \quad 2.3$$

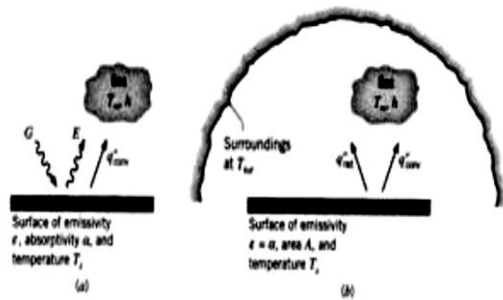
Keterangan :

q_r = Laju perpindahan panas radiasi (W)

σ = Konstanta steven boltzman = $5.6697 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$

A = Luas permukaan (m^2)

T = Temperatur ($^\circ C$)



(a) pada permukaan, (b) antara permukaan dan lingkungan

Gambar 2.3. Perpindahan panas radiasi
Untuk benda yang bukan benda hitam akan memancarkan energi sesuai persamaan di bawah ini:

$$Q_r = \epsilon \sigma A T^4 \quad 2.4$$

Sedangkan untuk persamaan perpindahan kalor sesama benda hitam adalah:

$$Q_r = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad 2.5$$

Keterangan :

ϵ = Emisivitas permukaan ($0 \leq \epsilon < 1$)

σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A = Luas (m^2)

T = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2.2 Klasifikasi Penukar Kalor

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung atau tidak. Maksudnya ialah :

1. Alat penukar kalor yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.
2. Alat penukar kalor yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya.

Alat penukar kalor dibagi dalam berbagai klasifikasi yaitu :

A. Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Fluida yang Mengalir.

- 1) Dua jenis fluida.
- 2) Tiga jenis fluida.
- 3) N-Jenis fluida (N lebih dari tiga).

B. Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi

- 1) Konstruksi *Tubular (shell and tube)*
 - a. *Tube ganda (double tube)*

b. Konstruksi *Shell and Tube*

- Sekat plat
- Sekat batang
- Kontruksi *tube spiral*

2) Konstruksi dengan Luas Permukaan diperluas (*extended surface*)

- a. Sirip plat (*plate fin*)
- b. Sirip tube (*tube fin*)

- *Heat pipe wall*
- *Ordinary separating wall*

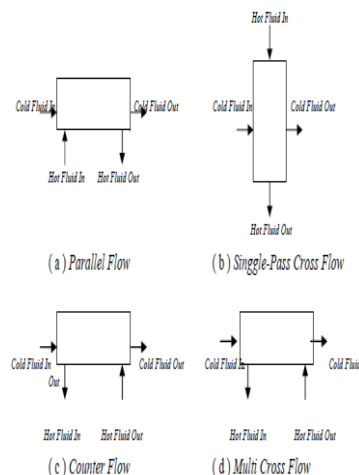
3) Konstruksi Tipe Plat

- a. Tipe plat
- b. Tipe spiral
- c. Tipe lamella
- d. Tipe plat koil

C. Klasifikasi Berdasarkan Pengaturan Aliran

1) Aliran dengan satu *pass*

- a. Aliran berlawanan
- b. Aliran searah
- c. Aliran melintang
- d. Aliran yang dibagi
- e. Aliran split



Gambar 2.4 Klasifikasi Penukar Kalor Berdasarkan Aliran Fluida

2) Aliran *multipass*

a. Permukaan yang diperbesar (*extended surface*)

- Aliran *counter* menyilang
- Aliran paralel menyilang
- Aliran *compound*

b. *Shell and tube*

- Aliran paralel yang berlawanan (M *pass* pada *shell* dan N *pass* pada *tube*)
- Aliran *split*
- Aliran dibagi (*devided*)

c. *Multipass* plat

- N – paralel plat *multipass*

D. Klasifikasi Berdasarkan Proses Perpindahan Panas

- 1) Tipe Kontak Tidak Langsung
 - a. Tipe dari satu fase
 - b. Tipe dari banyak fase
 - c. Tipe yang ditimbun (*storage type*)
 - d. Tipe *fluidized bed*
- 2) Tipe Kontak Langsung
 - a. *Immiscible fluids*
 - b. *Gas liquid*
 - c. *Liquid vapor*

E. Klasifikasi Berdasarkan Kompaknya Permukaan

- 1) Tipe penukar kalor yang kompak, Density luas permukaan $> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- 2) Tipe penukar kalor yang tidak kompak, Density luas permukaan $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$

F. Klasifikasi Berdasarkan Mekanisme Perpindahan Panas

- 1) Dengan cara konveksi, satu fase pada kedua sisi alirannya
- 2) Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan sisi yang lainnya terdapat cara konveksi 2 aliran
- 3) Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta terdapat 2 *pass* aliran masing-masing
- 4) Kombinasi cara konveksi dan radiasi

G. *Regenerative*

- 1) Tipe *rotary*
- 2) Tipe *drum*
- 3) Tipe *disk* (piringan)
- 4) Tipe matrik tetap

2.3 Alat Penukar Kalor *Shell and Tube*

Shell and tube adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan oleh adanya sekumpulan *tube* (*tube bundles*) yang dipasangkan di dalam *shell* berbentuk silinder dimana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor yang mengalir secara terpisah, yaitu melalui sisi *tube* dan sisi *shell*.

Umumnya, aliran fluida dalam *shell and tube* dari suatu alat penukar kalor adalah parallel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam *shell and tube* menjadi aliran menyilang (*cross flow*) biasanya ditambah *baffle* (sekat).

Alat penukar kalor jenis *shell and tube* adalah alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam berbagai macam industri dan paling sederhana dibanding dengan alat penukar kalor lainnya, hal ini karena:

- a. Hanya terdiri dari sebuah *tube* dan *shell*, dimana *tube* terletak secara konsentrik yang berada di dalam *shell*.
- b. Kemampuannya untuk bekerja dalam tekanan dan temperatur yang tinggi.
- c. Kemampuannya untuk digunakan pada satu aliran volume yang besar.
- d. Kemampuannya untuk bekerja dengan fluida kerja yang mempunyai perbedaan satu aliran volume yang besar.
- e. Tersedia dalam berbagai bahan atau material.
- f. Kontruksi yang kokoh dan aman.
- g. Secara mekanis dapat beroperasi dengan baik dan handal (*reliability* tinggi).

Secara umum, konstruksi alat penukar kalor jenis *shell and tube* dibedakan 4 bagian utama :

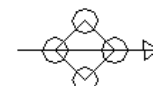
1. Bagian depan yang tetap atau *Front Stationary Head*
2. *Shell* atau badan alat penukar panas.
3. Bagian ujung belakang atau *Rear head*.
4. Berkas *tube* atau *tubes bundle*.

Terdapat beberapa jenis susunan pipa pada alat penukar kalor jenis *shell and tube* yaitu :

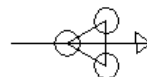
1. Pipa dengan susunan segitiga (*triangular pitch*)
2. Pipa dengan susunan segitiga diputar 30° (*rotated triangular* atau *in line triangular*)
3. Pipa dengan susunan bujur sangkar (*in line square pitch*)
4. Pipa dengan susunan berbentuk belah ketupat atau bujur sangkar yang diputar 45° (*diamond square pitch*)



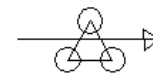
Square



Rotated square



Triangular



Rotated triangular

Gambar 2.5 Susunan Pipa pada Alat Penukar Kalor *Shell and Tube*

2.4 Pembagian Alat Penukar Kalor Jenis *Shell Dan Tubes* Berdasarkan *Standard of Turbular Exchanger Manufactures Association (TEMA)*

Begitu banyaknya jenis dari alat penukar kalor *shell* dan *tubes* yang dipergunakan pada

dunia industri. Untuk membuat pembagiannya secara pasti adalah sangat sulit. Tetapi oleh *Standard of Turbular Exchanger Manufactures Association* (TEMA) dikelompokkan berdasarkan pemakaian dari *heat exchanger* itu menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Alat penukar kalor kelas "R", yang dipergunakan pada industri minyak dan peralatan yang berhubungan dengan proses tersebut.
 2. Alat penukar kalor kelas "C", yang umumnya dipergunakan pada keperluan komersial.
 3. Alat penukar kalor kelas "B", yang umumnya dipergunakan pada proses kimia.
- Kelas R, kelas C dan kelas B ini, kesemuanya adalah alat penukar kalor yang tidak dibakar (*unfired shell and tubes*), tidak sama dengan dapur atau ketel uap.

2.5 METODE ϵ -NTU

Dalam metode ϵ -NTU, laju perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin di *exchanger* dinyatakan sebagai :

$$q = \epsilon C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) = \epsilon C_{min} \Delta T_{max} \quad 2.6$$

Keterangan :

q = Perpindahan kalor

ϵ = Efektivitas Penukar panas (%)

C_{min} = Koefisien perpindahan panas minimum ($\text{kW}/^\circ\text{C}$)

$T_{h,i}$ = Temperatur fluida panas yang masuk ($^\circ\text{C}$)

$T_{c,i}$ = Temperatur fluida dingin yang masuk ($^\circ\text{C}$)

ΔT_{max} = Beda suhu rata-rata yang tepat untuk digunakan dalam penukar kalor ($^\circ\text{C}$)

Dimana ϵ adalah efektivitas penukar panas, y kadang-kadang disebut dalam literatur mengenai efisiensi termal, C_{min} adalah minimal C_h dan C_c , $\Delta T_{max} = (T_{h,i} - T_{c,i})$ adalah perbedaan suhu inlet fluida (ITD) . Penukar panas ϵ efektivitas nondimensional, dan dapat ditunjukkan bahwa secara umum itu tergantung pada jumlah transfer unit *NTU*, kapasitas rasio panas tingkat C^* , dan pengaturan arus untuk penukar langsung transfer panas jenis:

$$\epsilon = \phi(NTU, C^*, \text{flow arrangement}) \quad 2.7$$

Di sini hubungan fungsional ϕ tergantung pada pengaturan arus. Tiga nondimensional kelompok, ϵ , *NTU*, dan C^* pertama kali didefinisikan di bawah ini. Hubungan di antara mereka digambarkan berikutnya.

2.5.1. Efektivitas *Heat Exchanger* (ϵ)

ϵ Efektivitas adalah ukuran kinerja termal dari penukar panas. Ini didefinisikan untuk penukar panas yang diberikan dari setiap pengaturan aliran sebagai rasio tingkat perpindahan panas aktual dari fluida panas ke fluida dingin ke panas maksimum Q_{max} transfer rate mungkin termodinamika diizinkan:

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad 2.8$$

Keterangan :

q = Perpindahan kalor yang nyata

q_{max} = Perpindahan kalor maksimum yang mungkin

Di sini ini diidealkan tidak ada aliran kebocoran dari satu fluida ke fluida yang lain, dan sebaliknya. Jika ada kebocoran arus di *exchanger*, q merupakan keuntungan entalpi total (atau kerugian) dari fluida C_{min} sesuai dengan laju aliran sebenarnya di outlet (dan tidak inlet) aliran.

Bagaimana kita menentukan q_{max} ? Ini akan diperoleh dalam "sempurna" counterflow penukar panas (*recuperator*) dari luas permukaan terbatas, nol konduksi dinding panas longitudinal, dan kebocoran aliran nol dari satu fluida ke fluida lainnya, beroperasi dengan tingkat aliran fluida dan suhu inlet fluida sama dengan penukar panas yang sebenarnya. Ini *exchanger* yang sempurna adalah "meterbar" (atau "tolok ukur") yang digunakan dalam mengukur tingkat kesempurnaan kinerja penukar yang sebenarnya. Nilai ϵ berkisar dari 0 ke 1. Jadi ϵ , seperti faktor efisiensi dan memiliki makna termodinamika. Seperti ditunjukkan di bawah, sedemikian penukar panas yang sempurna, suhu keluar dari cairan dengan kapasitas panas yang lebih kecil akan mencapai suhu masuknya cairan panas yang lebih besar kapasitasnya

Pertimbangkan penukar panas counterflow memiliki luas permukaan terbatas. Keseimbangan energi secara keseluruhan untuk dua aliran fluida

$$q = C_h(T_{h,i} - T_{h,o}) = C_c(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad 2.9$$

Keterangan :

q = Perpindahan kalor

C_h = Koefisien perpindahan panas fluida panas ($\text{kW}/^\circ\text{C}$)

C_c = Koefisien perpindahan panas fluida dingin ($\text{kW}/^\circ\text{C}$)

$T_{h,i}$ = Temperatur fluida panas yang masuk ($^\circ\text{C}$)

$T_{h,o}$ = Temperatur fluida panas yang keluar ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c,i}$ = Temperatur fluida dingin yang masuk ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c,o}$ = Temperatur fluida dingin yang keluar ($^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan persamaan ini, untuk $C_h < C_c$, $(T_{h,i} - T_{h,o}) > (T_{c,o} - T_{c,i})$. Penurunan suhu pada sisi fluida panas sehingga akan lebih tinggi, dan lebih panjang aliran tak terbatas suhu fluida panas akan mendekati temperatur inlet fluida dingin, sehingga $T_{h,o} = T_{c,i}$. Jadi untuk penukar counterflow wilayah tak terbatas dengan $C_h < C_c$, kita mendapatkan Q_{max} sebagai

$$q_{max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i}) = C_h \Delta T_{max} \quad 2.10$$

Keterangan :

q_{max} = Perpindahan kalor maksimum yang mungkin

ΔT_{max} = Beda suhu rata-rata yang tepat untuk digunakan dalam penukar kalor ($^{\circ}\text{C}$)

Dengan cara yang sama, untuk $C_h = C_c = C$,

$$q_{max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i}) = C_c(T_{h,i} - T_{c,i}) = C \Delta T_{max} \quad 2.11$$

Berdasarkan Persamaan. (2.9), untuk $C_h > C_c$, $(T_{c,o} - T_{c,i}) > (T_{h,i} - T_{h,o})$. oleh sebab itu, $T_{c,o}$ akan mendekati $T_{h,i}$ selama panjang tak terbatas, dan karena itu

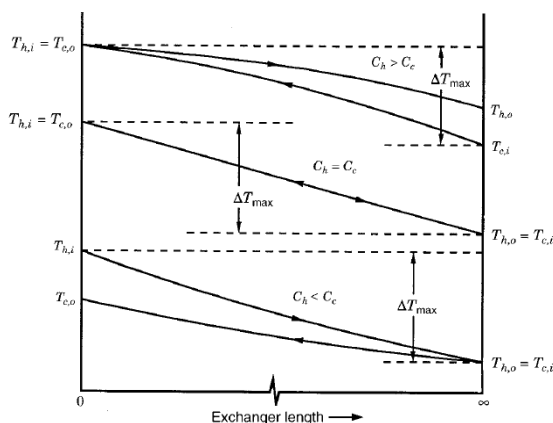
$$q_{max} = C_c(T_{h,i} - T_{c,i}) = C_c \Delta T_{max} \quad 2.12$$

Atau, lebih umum, berdasarkan Persamaan. (2.10) sampai (2.12),

$$q_{max} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) = C_{min} \Delta T_{max} \quad 2.13$$

Dimana :

$$C_{min} = \begin{cases} C_c & \text{untuk } C_c < C_h \\ C_h & \text{untuk } C_h < C_c \end{cases} \quad 2.14$$



Gambar 2.6 Suhu distribusi dalam penukar counterflow luas permukaan terbatas (Dari Shah 1983).

Jadi Q_{max} ditentukan oleh persamaan (2.13) untuk menentukan ukuran kinerja yang sebenarnya dari sebuah penukar panas yang

memiliki setiap pengaturan aliran. Perhatikan bahwa $\Delta T_{max} = T_{h,i} - T_{c,i}$ dalam setiap kasus dan C_{min} muncul dalam penentuan Q_{max} terlepas dari $C_h > C_c$ atau $C_h < C_c$. Menggunakan nilai perpindahan panas q tingkat aktual dari persamaan konservasi energi dan Q_{max} dari Persamaan. (2.13), efektivitas penukar dari Persamaan (2.8) berlaku untuk semua pengaturan aliran dua cairan. Diberikan oleh

$$\epsilon = \frac{C_h(T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{C_c(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad 2.15$$

Dengan demikian ϵ dapat ditentukan langsung dari suhu operasi dan tingkat kapasitas panas. Perlu ditekankan di sini bahwa $T_{h,o}$ dan $T_{c,o}$ adalah suhu stopkontak massal. Jika ada aliran dan / atau maldistribution suhu pada inlet penukar, tidak hanya suhu stopkontak cairan tetapi juga suhu inlet cairan harus dihitung sebagai nilai massal dan digunakan dalam Pers. (2.15). Sebuah ekspresi alternatif "menggunakan q dari persamaan laju dan Q_{max} dari Persamaan. (2.15) adalah

$$\epsilon = \frac{UA}{C_{min} \Delta T_{min}} \quad 2.16$$

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

A = Luas penampang perpindahan kalor yang sesuai dengan definisi U

Di sini kita mempertimbangkan pendekatan yang kita daftar semua kelompok nondimensional mungkin dari inspeksi visual dari Persamaan (2.15) dan (2.16) sebagai berikut dan kemudian menghilangkan orang-orang yang tidak independen; efektivitas penukar "tergantung pada kelompok nondimensional berikut:

$$\epsilon = \frac{UA}{C_{min} \Delta T_{min}} \quad \phi \left(\frac{UA}{C_{min} \Delta T_{min}}, \frac{C_{min}}{C_{max}}, \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{\Delta T_{max}}, \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{\Delta T_{max}}, \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T_{max}}, \text{flow arrangement} \right) \quad 2.17$$

Perhatikan bahwa $T_{max} = T_{h,i} - T_{c,i}$ dalam tiga kelompok terakhir dari Persamaan (2.17) merupakan parameter independen. Dalam Eq. (2.17), $C_{max} = C_c > C_h$ untuk C_h dan $C_{max} = C_h$ untuk $C_h > C_c$, sehingga

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = \begin{cases} \frac{C_c}{C_h} & \text{untuk } C_c < C_h \\ \frac{C_h}{C_c} & \text{untuk } C_h < C_c \end{cases} \quad 2.18$$

Dalam rangka untuk menunjukkan bahwa ketiga melalui kelompok kelima di sisi kanan Persamaan. (2.17) tergantung, dengan menggunakan Pers. (2.15), kita dapat menunjukkan bahwa dua pertama dari tiga kelompok terkait sebagai :

$$\frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{\Delta T_{max}} = \frac{C_c}{C_h} \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{\Delta T_{max}} = \frac{\varepsilon}{C_h/C_{min}} =$$

$$\begin{cases} \varepsilon & \text{untuk } C_h = C_{min} \\ \varepsilon(C_{min}/C_{max}) & \text{untuk } C_h = C_{max} \end{cases} \quad \text{2.19}$$

dan menggunakan Persamaan. (3.16), kita dapat menunjukkan bahwa kelompok kelima Persamaan (3.17) adalah

$$\frac{\Delta T_m}{\Delta T_{max}} = \frac{\varepsilon}{UA/C_{min}} \quad \text{2.20}$$

Karena sisi kanan dari persamaan terakhir dari Persamaan. (2.19) dan (2.20) memiliki ε , C_{min}/C_{max} , dan UA/C_{min} sebagai satu-satunya kelompok nondimensional dan mereka sudah termasuk dalam Persamaan. (2.17), kelompok berdimensi sisi kiri Pers. (2.17) dan (2.20) tergantung. Jadi Pers. (2.17) dapat ditulis dalam bentuk kelompok nondimensional, tanpa kehilangan umum, sebagai berikut:

$$\varepsilon = \phi \left(\frac{UA}{C_{min}}, \frac{C_{min}}{C_{max}}, \text{pengaturan aliran} \right) = \phi(NTU, C^* \text{ pengaturan aliran}) \quad \text{2.21}$$

Keterangan :

NTU = *Number of transfer unit* (jumlah satuan perpindahan)

Dimana $UA = C_{min}$ (jumlah unit transfer = NTU) adalah parameter berdimensi bawah kendali desainer, $C_{min} = C_{max}$ (kapasitas panas rasio laju = C^*) adalah parameter operasi berdimensi, dan penukar panas pengaturan arus dibangun juga parameter desainer.

Demikian pula, efektivitas suhu fluida dingin didefinisikan sebagai rasio kenaikan suhu fluida dingin dengan perbedaan suhu inlet fluida:

$$\varepsilon_c = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} = \frac{\Delta T_c}{\Delta T_{max}} \quad \text{2.22}$$

Dari keseimbangan energi, dan definisi dari “h”, dan “c”, dapat ditunjukkan bahwa :

$$C_h \varepsilon_h = C_c \varepsilon_c \quad \text{2.23}$$

Perbandingan efektivitas suhu dengan Persamaan. (3.15) untuk *exchanger* (perpindahan panas) efektifitas mengungkapkan bahwa mereka terkait dengan

$$\varepsilon = \frac{C_h}{C_{min}} \varepsilon_h =$$

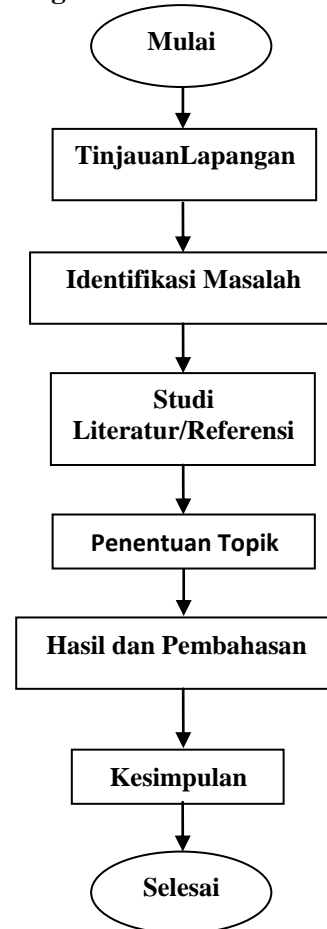
$$\begin{cases} \varepsilon_h & \text{untuk } C_h = C_{min} \\ \varepsilon_h/C^* & \text{untuk } C_h = C_{max} \end{cases} \quad \text{2.24}$$

$$\varepsilon = \frac{C_c}{C_{min}} \varepsilon_h =$$

$$\begin{cases} \varepsilon_c & \text{untuk } C_c = C_{min} \\ \varepsilon_c/C^* & \text{untuk } C_c = C_{max} \end{cases} \quad \text{2.25}$$

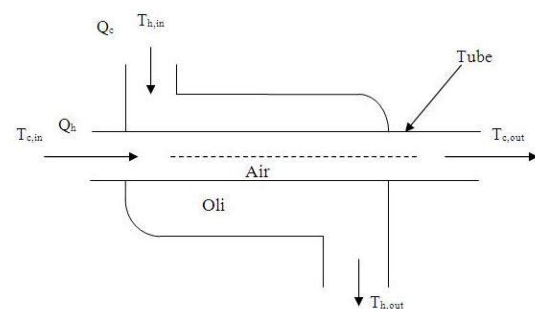
III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi

3.2 Diagram Titik Pengukuran



Gambar 3.2 Diagram Titik Pengukuran

Keterangan :

$T_{c,in}$ = Temperatur air masuk ke *Heat Exchanger* ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c,out}$ = Temperatur air keluar dari *Heat Exchanger* ($^{\circ}\text{C}$)

Q_h = debit (*quantity flow*) air (l/s)

$T_{h,in}$ = Temperatur oli masuk ke *Heat Exchanger* ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{h,out}$ = Temperatur oli dari ke *Heat Exchanger* ($^{\circ}\text{C}$)

Q_h = debit (*quality flow*) oli (l/s)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan Nilai Efektifitas *Heat Exchanger* 8 Jam Operasi pada Hari Pertama

Jam operasi (Pukul, WIB)	Air (<i>cold</i>)				Oli (<i>hot</i>)				Q_{max} (kW)	Q_{air} (Q_c) (kW)	Q_{oli} (Q_h) (kW)	ϵ_c (%)	ϵ_h (%)
	$T_{c,in}$ (°C)	$T_{c,out}$ (°C)	\dot{m}_c (kg/s)	C_c (kW/°C)	$T_{h,in}$ (°C)	$T_{h,out}$ (°C)	\dot{m}_h (kg/s)	C_h (kW/°C)					
08.00	22.9	27.3	14.545	60.798	46.5	41.5	32.213	64.007	1374.037	267.512	255.079	19	19
09.00	22.7	27.3	14.545	60.798	46.5	41.6	32.213	64.007	1386.197	279.671	248.986	20	18
10.00	22.7	27.3	14.528	60.742	46.6	41.5	32.243	64.067	1390.982	279.411	261.990	20	19
11.00	22.8	27.2	14.512	60.675	46.6	41.5	32.272	64.124	1383.382	266.969	262.092	19	19
12.00	23.0	27.2	14.545	60.813	46.5	41.7	32.228	64.037	1368.284	255.413	242.699	19	18
13.00	23.0	27.3	14.528	60.742	46.6	41.7	32.287	64.154	1372.759	261.189	249.078	19	18
14.00	22.9	27.3	14.545	60.813	46.5	41.5	32.257	64.095	1374.366	267.576	255.847	19	19
15.00	22.7	27.4	14.545	60.813	46.6	41.5	32.257	64.095	1386.528	285.819	255.847	21	18
Rerata	22.84	22.28	14.536	60.774	46.55	41.56	32.246	64.073	1379.567	270.445	253.953	19.5	18.42

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Nilai Efektifitas *Heat Exchanger* 8 Jam Operasi pada Hari Kedua

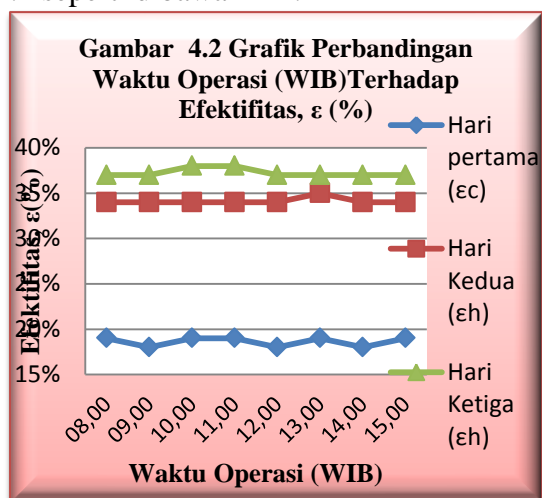
Jam operasi (Pukul, WIB)	Air (<i>cold</i>)				Oli (<i>hot</i>)				Q_{max} (kW)	Q_{air} (Q_c) (kW)	Q_{oli} (Q_h) (kW)	ϵ_c (%)	ϵ_h (%)
	$T_{c,in}$ (°C)	$T_{c,out}$ (°C)	\dot{m}_c (kg/s)	C_c (kW/°C)	$T_{h,in}$ (°C)	$T_{h,out}$ (°C)	\dot{m}_h (kg/s)	C_h (kW/°C)					
08.00	24.7	29.3	14.706	61.471	51.3	42.6	31.895	64.141	1635.131	282.767	554.764	17	34
09.00	24.6	29.3	14.723	61.542	51.3	42.6	31.938	64.227	1643.175	289.248	555.510	18	34
10.00	24.5	29.3	14.707	61.475	51.3	42.6	31.924	64.199	1647.537	295.081	555.267	18	34
11.00	24.5	29.3	14.740	61.613	51.3	42.4	31.938	64.227	1651.233	295.743	568.043	18	34
12.00	24.5	29.3	14.723	61.542	51.3	42.6	31.909	64.169	1649.329	295.402	555.007	18	34
13.00	24.4	29.3	14.724	61.546	51.3	42.4	31.880	64.111	1655.596	301.577	584.749	18	35
14.00	24.4	29.3	14.724	61.546	51.3	42.6	31.909	64.169	1655.596	301.577	555.007	18	34
15.00	24.6	29.4	14.707	61.475	51.3	42.6	31.924	64.199	1641.389	295.081	555.267	18	34
Rerata	25.52	29.31	14.719	61.526	51.3	42.55	31.914	64.180	1647.373	294.559	560.452	17.8	34.03

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Nilai Efektifitas *Heat Exchanger* 8 Jam Operasi pada Hari Ketiga

Jam operasi (Pukul, WIB)	Air (cold)				Oli (hot)				Q_{\max} (kW)	Q_{air} (Q_c) (kW)	Q_{oli} (Q_h) (kW)	ε_c (%)	ε_h (%)
	$T_{c,\text{in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,\text{out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	\dot{m}_c (kg/s)	C_c (kW/ $^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,\text{in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,\text{out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	\dot{m}_h (kg/s)	C_h (kW/ $^{\circ}\text{C}$)					
08.00	23.5	28.8	14.726	61.569	50.2	40.6	32.039	64.302	1643.903	326.318	611.150	20	37
09.00	23.5	28.8	14.760	61.711	50.2	40.6	32.039	64.302	1647.699	327.071	611.150	20	37
10.00	23.6	28.8	14.759	61.707	50.2	40.6	32.053	64.330	1641.416	320.878	611.417	20	37
11.00	23.7	28.8	14.742	61.636	50.2	40.5	32.053	64.330	1633.362	314.345	617.475	19	38
12.00	23.7	28.9	14.759	61.707	50.2	40.5	32.068	64.360	1635.245	320.878	617.764	20	38
13.00	23.6	28.9	14.726	61.569	50.2	40.6	32.039	64.302	1637.746	326.318	611.150	20	37
14.00	23.6	28.8	14.726	61.569	50.1	40.5	32.055	64.302	1631.589	320.161	611.147	20	37
15.00	23.5	28.8	14.710	61.502	50.1	40.5	32.040	64.272	1635.967	325.963	610.862	20	37
Rerata	23.59	28.82	14.74	61.621	50.17	40.55	32.048	64.312	1638.366	322.741	612.765	19.8	37.42

4.2 Pembahasan

Pada analisa diambil salah satu data pada hari kedua pukul 08.00WIB sebagai contoh perhitungan yang mewakili seluruh perhitungan. Perbandingan nilai efektifitas yang didapat dilihat pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3, dimana perbandingan nilai tersebut dapat kita lihat pada gambar 4.2 seperti dibawah ini :



Seperti yang kita lihat pada gambar 4.2 grafik hubungan waktu operasi terhadap efektifitas *heat exchanger* bahwa data efektifitas yang diambil adalah nilai

efektifitas yang dominan yaitu nilai yang paling besar dari efektifitas fluida dingin (ε_c) dan efektifitas fluida panas (ε_h). pada hari pertama efektifitasnya yang terbesar adalah nilai pada efektifitas pada fluida dingin (ε_c), sedangkan pada hari kedua dan ketiga nilai efektifitasnya yang terbesar yaitu nilai efektifitas pada fluida panasnya (ε_h). Dapat dilihat bahwa perbandingan nilai efektifitas tersebut dikategorikan sangat kecil. Perhitungan pada hari pertama nilai efektifitasnya pada pukul 08.00WIB adalah 19% dan pada pukul 09.00WIB dan 10.00WIB adalah sebesar 20%, dan pada pukul 11.00WIB sampai 14.00WIB nilai efektifitasnya menjadi 19% dan mengalami kenaikan menjadi 20% pada pukul 15.00WIB. Sedangkan pada hari kedua nilai efektifitasnya cenderung lebih lebih besar dari hari pertama yaitu 34% pada setiap jamnya kecuali pada pukul 11.00WIB yaitu mencapai nilai 35%. Besar nilai efektifitas pada hari ketiga adalah 37% hampir disetiap jamnya kecuali pada pukul 11.00WIB dan 12.00WIB yaitu 38%.

Besarnya nilai efektifitas dipengaruhi oleh besarnya nilai Q_{\max} dan Q . Dari hasil perhitungan nilai Q lebih kecil dibandingkan dengan nilai Q_{\max} , ini sangat mempengaruhi besar efektifitas yang dihasilkan. Nilai Q yang didapat sangat dipengaruhi oleh besarnya selisih temperatur yang masuk dan temperatur yang keluar, baik temperatur air maupun temperatur oli. Pada data yang didapat selisih nilai temperatur masuk dengan nilai temperatur keluar baik oli maupun air relatif kecil. Ini yang menyebabkan besar efektifitasnya menjadi kecil.

Nilai efektifitas yang kecil ini disebabkan karena beda temperatur yang masuk dan yang keluar sangat kecil. Dapat diketahui nilai efektifitas tersebut jauh dari nilai efektifitas terbaik. Atau dengan kata lain *heat exchanger* tidak bekerja sesuai dengan mestinya (tidak seefektif sesuai dengan fungsi dan kerja *heat exchanger* sebagai penukar kalor). Ini disebabkan perawatan pada *heat exchanger* hanya seadanya saja (ala kadarnya), artinya perawatan atau perbaikan yang dilakukan jauh dari sempurna, sedangkan disisi lain dituntut untuk tetap bekerja secara optimal. (dengan kata lain dana operasi perawatan baik berkala maupun mendadak minim atau nol rupiah atau tidak ada anggaran).

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam pembahasan ini, kita telah mengetahui bahwa data yang diambil

adalah selama 3(tiga) hari dengan jumlah data sebanyak 8 perharinya atau secara keseluruhan berjumlah 24 data. Dengan demikian, jumlah nilai efektifitas *heat exchanger* yang didapat sebanyak 24 buah nilai dengan waktu dan nilai yang berbeda. Dari hasil perhitungan, kita dapat mengetahui efektifitas *heat exchanger* setiap jamnya dari jam 08.00WIB sampai 15.00WIB, dengan range nilai 19%-38%. Sedangkan nilai efektifitas rata-rata *heat exchanger* adalah dengan range nilai 19.5%-37.42%. Sehingga kita dapat menyimpulkan bahwa *heat exchanger* yang bekerja dalam kondisi sangat jauh dari efektif. Hal ini dapat disebabkan karena perawatan dan perbaikan *heat exchanger* yang dilakukan jauh dari sempurna.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus. A, 2003. "*Heat Transfer A Practical Approach, Ed. 2*", New York, The McGraw-Hill Companies,
- Cengel, Yunus. A. 2006. "*Thermodynamics An Engineering Approach*", Singapore, McGraw-Hill Companies
- Frass. Arthur P. 1988, "*Heat Exchanger Design*". Second Edition. USA.
- Shah. Ramesh K. and Dusan P. Sekulic, 2003. "*Fundamental of Heat Exchanger Design*". USA
- Harahap. Filino 1996. "*Termodinamika Teknik Edisi Kedua*". Erlangga, Jakarta.
- Holman, J. P. 1993. "*Perpindahan Kalor, Ed. 6*", Jakarta: Erlangga.
- Zukauskas, A, 1972. "*Heat Transfer from Tubes in Cross Flow, Ed. 8*", Lithuania.

